

## Система управления 3D-принтеров на базе двухзвенного манипулятора

Наумов Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент;

Кольцов Александр Федорович, студент;

Голованева Анна Викторовна, студент;

Кабринцев Александр Николаевич, студент

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донской государственной технической академии» (г. Шахты, Ростовская область)

3D моделирование является неотъемлемым этапом разработки сложных технологических или архитектурных форм. В недалеком прошлом, изначально разрабатывалась объемная модель в электронном виде, которая впоследствии воплощалась в реальной твердотельной копии. Этот процесс требовал значительных денежных и временных затрат.

В настоящее время процесс создания физической 3D копии виртуальной модели значительно упрощен благодаря устройствам быстрого прототипирования, также известных как 3D принтеры. А процесс создания объемной этой модели называется 3D печатью [2, с. 10].

В настоящее время 3D принтеры имеют большую стоимость из-за сложности механической части принтера, поэтому для упрощения конструкции, а соответственно и стоимости такого устройства как 3D принтер, рационально использовать двухзвенный манипулятор. Многие 3D принтеры работают по принципу «Контурного строительства», в котором с помощью экструзии слой за слоем пластиком

наращивается, по заложенному программой контуру, модель, что в свою очередь может осуществить двухзвенный манипулятор.

Кинематическая схема содержит круглый диск, вращающийся относительно вертикальной оси, и штангу, соединенную с круглым диском с возможностью вращения вокруг точки крепления  $H$  и перемещением печатающей головки, закрепленной на конце штанги в точке  $P(t)$  [3, с. 100].

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:  $P(t)$  – рабочая точка с координатами  $x(t), y(t)$  в основной (неподвижной) системе координат  $xu$  и  $x_2(t), y_2(t)$  в дополнительной системе координат  $x'y'$ ;  $\alpha(t)$  – угол поворота диска относительно основной системы координат;  $\beta(t)$  – угол поворота штанги относительно дополнительной системы координат;  $a, b$  – концы отрезка  $ab$ , который должна проходить точка  $P(t)$ ;  $\theta$  – угол наклона отрезка  $ab$ ;  $R$  – радиус диска и длина штанги. [1, с. 3]

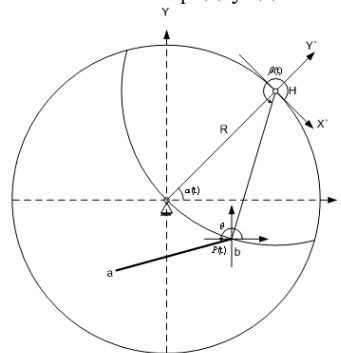


Рис. 1. Кинематическая схема устройства

С целью получения отрезка прямой линии, произвольно расположенного на поверхности основания для печати (площадки), рассмотрим задачу формирования управляющих воздействий для координат  $\alpha(t)$  и  $\beta(t)$ , решение этой задачи позволит реализовать алгоритм управления механизмом, воспроизводящим произвольный контур.

Угловые координаты любой из множества точек, принадлежащих отрезку прямой  $a, b$  (как и любому другому отрезку, расположенному на поверхности площадки), могут быть определены из соотношений (1), (2):

$$\begin{cases} \alpha(t) = \text{Arccos}\left(\frac{x(t) \sin \beta(t) + x(t) - \cos \beta(t) y(t)}{2R(\sin \beta(t) + 1)}\right) \\ \beta(t) = \text{Arcsin}\left(\frac{x^2(t) + y^2(t) - 1}{2R^2}\right) \end{cases} \quad (1)$$

Так как  $\beta(t)$  может принимать любое значение (ограничения в нашем случае накладываются только областью изменения  $x(t)$  и  $y(t)$ ), то любому значению аргумента арк-

синуса будут соответствовать два угла, вычисляемых по формуле для периода арксинуса:

$$\text{Arcsin}\left(\frac{x^2(t) + y^2(t) - 1}{2R^2}\right) = (-1)^n \arcsin\left(\frac{x^2(t) + y^2(t) - 1}{2R^2}\right) + \pi n, \quad (2)$$

где  $n=0, 1, 2, \dots$

Этим и объясняется неоднозначность соответствия углов  $\alpha$  и  $\beta$  точкам на плоскости (одна точка может быть задана двумя парами углов). Эта неоднозначность позволяет уменьшить изменения углов  $\alpha$  и  $\beta$  при перемещении печатающей головки к точке начала обработки. Для этого рассчитывается полный арксинус для  $n=0$  и для  $n=1$  и выбирается та пара углов, при которой перемещение минимально. В рассматриваемой модели не используется координата  $Z$ , так как данная координата нужна для изменения слоя.

Программная реализация системы управления основана на предварительной обработке файла с рисунком (описание рисунка на языке HPGL) для перевода его в бинарный формат, представляющий собой последователь-

ность байтов, каждый из которых содержит биты направления и биты шага для двух двигателей, остальные биты используются как служебные. Сочетания битов шага и направления выбираются исходя из изменения углов поворота звеньев станка при перемещении печатающей головки из одной точки рисунка в другую, рассчитываемых на основании соотношений (1, 2). Подобная форма предварительной обработки позволяет использовать в системе управления микроконтроллеры с меньшей вычислительной мощностью и требует для обмена данными с драйверами двигателей только наличия параллельного порта, к контактам которого подключены выходы управления согласно формату байта. При такой реализации нет необходимости синхронизации для систем с одним микроконтроллером, и

упрощается синхронизация при использовании нескольких систем.

Сложность физической реализации систем управления для механизмов такого типа заключается в расположении привода штанги и печатающей головки на вращающейся платформе. Питание и сигналы управления двигателями в этом случае могут передаваться через группу скользящих контактов или контактных колец (рис. 2). При введении системы беспроводной передачи сигналов (рис. 3) и расположении части системы управления и драйвера двигателя на поверхности диска необходимо ввести только один скользящий контакт для подачи питания, что значительно упрощает конструкцию [1, с. 4].

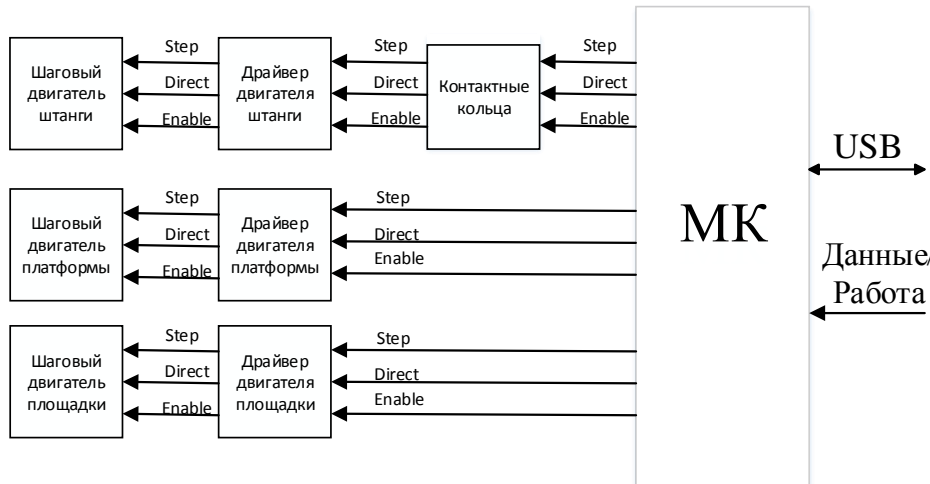


Рис. 2. Структурная схема системы управления с контактной передачей сигналов

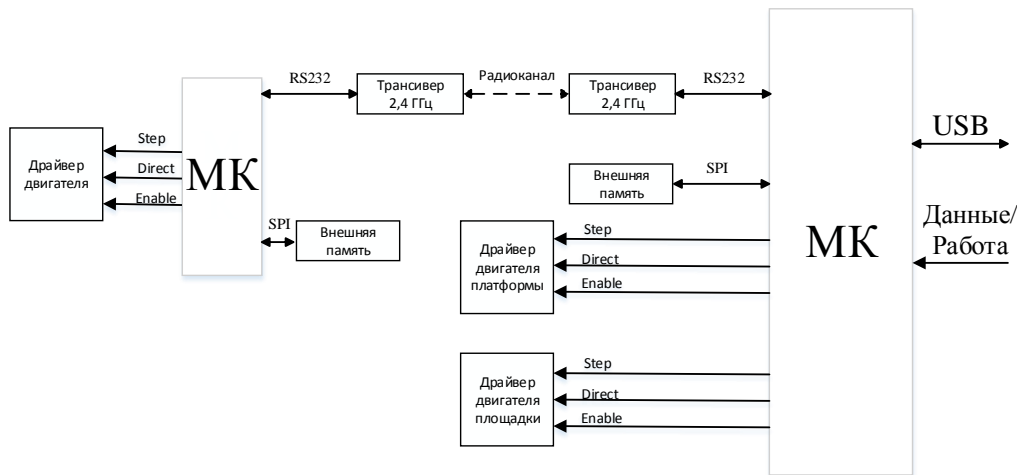


Рис. 3. Структурная схема системы управления с передачей сигналов по радиоканалу

Загрузку бинарного файла предполагается осуществлять с внешнего накопителя или персонального компьютера по шине USB. Выбор режимов «Загрузка/Работа» осуществляется переключателем до включения питания механизма.

Такая реализация низкой требовательностью к вычислительным ресурсам за счет предварительной обработки данных, но требуют подключения дополнительной внешней памяти, а использование радиомодулей диапазона 2,4 ГГц позволяет за счет высокой скорости передачи информации в дальнейшем ввести достаточно мощную систему коррекции ошибок, что делает рассматриваемую структуру на

основе радиоканала наиболее перспективной для применения.

В данной статье рассмотрены возможные реализации системы управления для принтеров на базе двухзвенного манипулятора с размещением части узлов на подвижной части механизма. Полученные математические соотношения справедливы для всех модификаций устройства при сохранении кинематической схемы, что позволяет использовать предлагаемые принципы управления без значительных изменений, а использование предварительной обработки графических файлов упрощает систему управления и позволяет уменьшить стоимость изделия [1, с. 5].

#### Литература:



1. Алепко А.В., Наумов И.И., Толстунов О.Г., Зеленский А.А. система управления двухзвенным манипулятором для силомоментной обработки материалов на плоскости, «актуальные проблемы техники и технологии, сборник научных трудов. – 2009.» – с. 3-5.
2. Канесса Э., Фонда К., Зеннаро М. Доступная 3D печать для науки, образование и устойчивого развития, 2013-192 с. URL:<https://drive.google.com/file/d/0BwYwpIUU6gSuUW5uWldaYWswNkE/edit?pli=1>
3. Фу. К., Гонсалес Р., Ли К., «Робототехника М. : Мир, 1989.» – 624 с.